



Unione Europea
P.O.N. - "Competenze per lo Sviluppo" (FSE)
D.G. Occupazione, Affari Sociali e pari Opportunità



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
Dipartimento per la Programmazione
D.G. per gli Affari Internazionali - Ufficio IV
Programmazione e gestione dei fondi strutturali europei
e nazionali per lo sviluppo e la coesione sociale



Il modello particellare della materia

di Giuseppe Valitutti

Il modello particellare della materia.....	2
La temperatura misura il grado di agitazione delle molecole	4
La temperatura, il calore e l'energia interna	6

Il modello particellare della materia

Gli oggetti che vediamo coi nostri occhi e che tocchiamo con le mani, e anche tante altre cose che non vediamo (come i gas), appartengono a quel mondo che noi chiamiamo *materiale*. La materia è formata in genere da materiali, che sono miscugli più o meno complessi di sostanze pure. Ma che cosa sono le sostanze pure, da un punto di vista microscopico ?

L'oro (Au), il ferro (Fe) e l'alluminio (Al) sono esempi di elementi solidi a noi noti e che possiamo riconoscere facilmente a livello macroscopico.

Immaginiamo ora di dividere un oggetto di alluminio in campioni sempre più minuti; dopo numerosissime suddivisioni, possiamo immaginare di arrivare a una singola particella, che noi chiamiamo **atomo**. Ciò è vero per l'alluminio, per l'oro, per il ferro e per tutti gli elementi della tavola periodica. Gli elementi, infatti, sono costituiti da una sola specie di atomi. Un atomo di alluminio ha le stesse proprietà chimiche di un oggetto di alluminio, ma non ha le stesse proprietà fisiche. Il buon senso ci dice che *un singolo* atomo di alluminio non può essere grigio e non può condurre la corrente elettrica.

Un singolo atomo, quindi, non possiede le proprietà fisiche tipiche dell'elemento solido, come l'opacità, il colore, la densità e la conducibilità elettrica. Tali proprietà sono il risultato dell'unione di tantissimi atomi, che costituiscono l'oggetto di alluminio. Le proprietà fisiche dell'alluminio e di qualsiasi altro elemento (sinora gli elementi noti sono 110) sono **proprietà macroscopiche** della materia. E quindi non appartengono al singolo atomo, ma si possono misurare soltanto su campioni che contengono numerosissimi atomi dell'elemento.

La stragrande maggioranza dei 23 milioni di sostanze note, sino ad oggi, è costituita da **molecole**. Una sola molecola, come un atomo isolato, non possiede le proprietà fisiche caratteristiche dell'elemento o del composto, da cui proviene. Una molecola d'acqua è liquida, è solida o è gassosa ? Forse una molecola d'acqua si comporta come una minuscola goccia d'acqua ? E' privo di significato parlare di stato fisico (solido, liquido e gassoso), di punto di ebollizione, di densità o di colore di una sola molecola d'acqua (H₂O). Le **proprietà fisiche** di una sostanza, sia essa elemento o composto, sono **proprietà macroscopiche**, dovute agli effetti cooperativi di un enorme numero di atomi o di molecole.

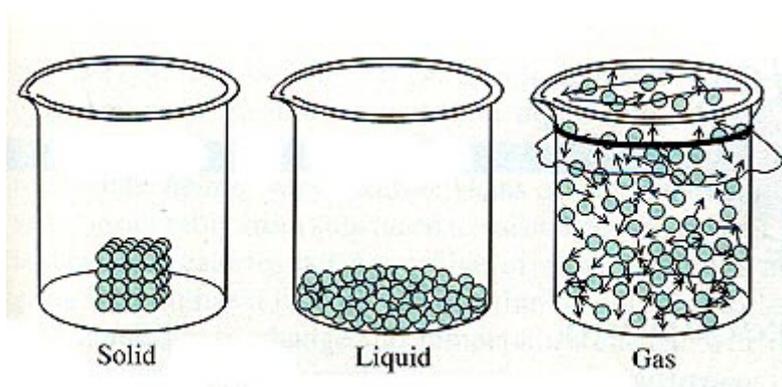
Al contrario, le proprietà chimiche delle sostanze sono **proprietà microscopiche**, che traggono origine dalla natura degli atomi e delle molecole delle sostanze. Per esempio, nelle reazioni di combustione è sempre una molecola di ossigeno (O₂) che si combina con un atomo di carbonio (C), per dare come prodotto una molecola di anidride carbonica (CO₂). La molecola CO₂ non è la somma di C e O₂, perciò possiede un comportamento chimico completamente diverso da O₂ e da C.

Per finire, dobbiamo sottolineare un punto molto importante: le formule non indicano sempre composti formati da molecole. Esistono composti, come il sale da cucina (NaCl), la cui formula non segnala una molecola ma semplicemente il rapporto (1:1, in questo caso) in cui si trovano gli ioni tra loro. I composti di questo tipo sono detti composti ionici; essi non sono formati da molecole ben individuabili, ma da schiere di ioni positivi (per esempio Na⁺) e di ioni negativi (per esempio Cl⁻), che si attraggono e formano un solido cristallino tridimensionale. Tutti i composti ionici sono solidi a temperatura ambiente.

Ma qual è la natura microscopica dei solidi, dei liquidi e dei gas ? Le forze che tengono insieme le particelle microscopiche nei materiali solidi, nei liquidi e nei gas sono forze di natura elettrica. Sono le interazioni elettrostatiche (di attrazione e di repulsione), fra le cariche elettriche, che determinano lo stato fisico dei materiali.

Abbiamo detto che i materiali sono formati da piccolissime particelle, gli atomi, le molecole e gli ioni. Fra queste particelle microscopiche c'è **spazio vuoto** ed esse non sono ferme, ma sono in *continuo e inarrestabile moto*. Quanto affermato si costruisce tramite una lunga serie di investigazioni, come quelle descritte nel libro di Joseph Novak *"Il mondo meraviglioso della scienza"*.

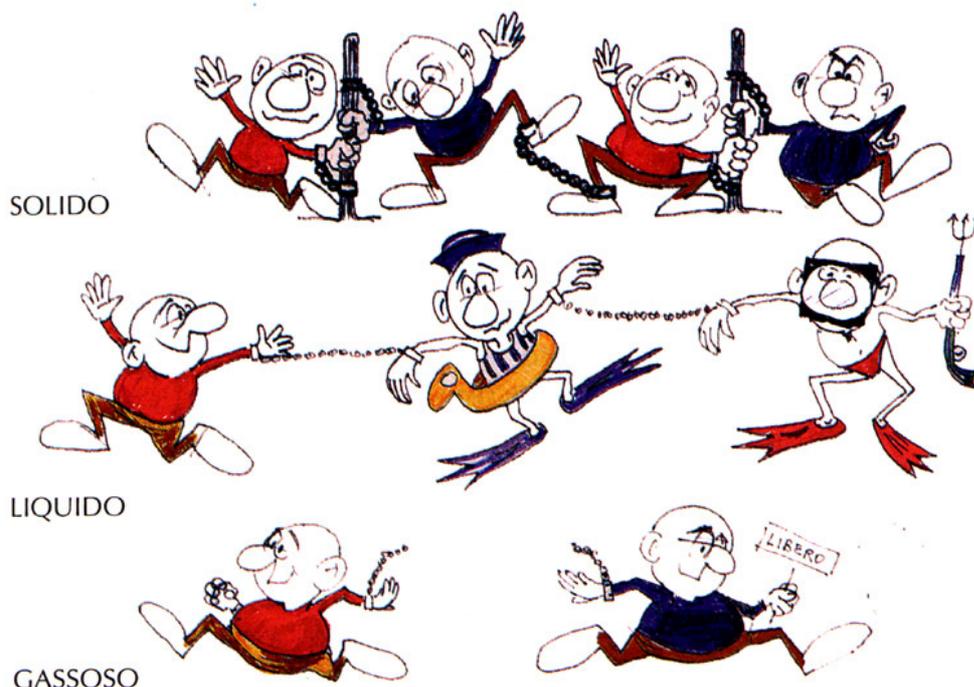
Nei solidi, le particelle oscillano e vibrano intorno a delle posizioni fisse; nei liquidi, le molecole hanno maggiore libertà di movimento; per i gas, infine, la libertà di movimento è massima e il moto molecolare è assolutamente disordinato e lo spazio vuoto, fra le particelle, è molto più grande di quello delle particelle di liquidi e solidi. La figura seguente rappresenta il comportamento delle particelle microscopiche nei solidi, nei liquidi e nei gas. Le frecce del modello di gas indicano il movimento. Più difficile è la rappresentazione delle vibrazioni, delle oscillazioni e delle rotazioni delle particelle di solidi e liquidi:



Ancora più efficaci sono i modelli disegnati sotto dal Prof. Gianluigi Breschi.

Figura I tre stati dei materiali. Le molecole si muovono con maggiore libertà nei gas, mentre nei solidi le molecole si agitano, si attraggono, ma non si spostano dalle loro posizioni. Le molecole dei liquidi stanno vicine e si attraggono, come quelle dei solidi, ma si possono spostare da una parte all'altra, come le molecole dei gas.

Una seconda analogia, per spiegare da un punto di vista microscopico i tre stati della materia, è di tipo calcistico. I giocatori si tengono per mano, durante l'inno (stato solido), dopo l'inno i giocatori si sparpagliano lentamente (stato liquido); infine, i giocatori, al fischio dell'arbitro, si muovono da una parte all'altra del campo e lo occupano tutto (stato gassoso).



Il concetto di energia è difficile da spiegare, perché in fisica ha un significato del tutto diverso da quello del comune linguaggio. E' molto meglio introdurre bene il concetto di lavoro, pure assai lontano dal comune linguaggio, che poggia sulle familiari nozioni di forza e spostamento. Dopo un certo lavoro di una forza notiamo che il sistema ha cambiato la sua velocità o è aumentata la sua temperatura. Allora diciamo che è variata l'energia cinetica del sistema o la sua energia interna. Sappiamo che l'energia si trasferisce da un sistema all'altro e si trasforma da una forma all'altra. Ma cos'è l'energia? Possiamo scrivere che l'energia è la capacità che ha un sistema di far accadere qualcosa o di determinare dei cambiamenti?

Per esempio, la pila collegata a una lampadina, con un filo metallico, la fa accendere. Per ora pensiamo alle forze che gli oggetti esercitano su altri oggetti come la capacità, tramite il lavoro, di far accadere qualcosa. Di determinare dei cambiamenti. Le particelle microscopiche possono muoversi più o meno rapidamente e allora si può dire che le particelle possiedono **energia cinetica**? Oltre a questa energia, legata al movimento, le particelle microscopiche di un oggetto ne hanno un'altra, che possiamo chiamare **energia potenziale**? Possiamo dire che questo tipo di energia deriva dalle interazioni elettrostatiche reciproche delle particelle microscopiche? Quando le particelle si avvicinano la loro energia potenziale diminuisce se la forza è attrattiva e viceversa. L'energia potenziale, al contrario di quella cinetica, è quindi un attributo di un sistema di corpi. Tutti i fattori, per esempio il calore fornito, che determinano un allontanamento delle particelle fanno accrescere la loro energia potenziale. La somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale delle particelle, che costituiscono il sistema - oggetto è chiamata **energia interna** del sistema:

$$Energia\ interna = E_{sistema} = E_c + E_p$$

Il termine "interna" significa che nel conteggio dell'energia del sistema va esclusa quella del moto macroscopico, cioè del sistema nel suo insieme. Una bombola di gas che viaggia su un treno ha la stessa energia interna di una identica bombola ferma in stazione.

Tutti gli oggetti, tutti i corpi e tutti i sistemi posseggono energia interna, che risulta costituita da due diversi tipi di energia. La prima è l'energia di movimento delle particelle microscopiche, denominata **energia cinetica**. La seconda è **l'energia potenziale**, che rappresenta e deriva dalle forze di interazione elettrostatica delle particelle (chiamate **forze di coesione**).

Does a glass of water sitting on a table have any energy?



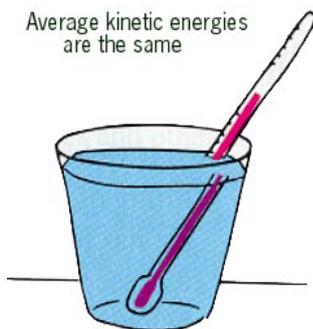
1. La temperatura misura il grado di agitazione delle molecole

Ogni volta che misuriamo col termometro la temperatura di un corpo o di un oggetto, ricaviamo informazioni sul suo stato termico. Il corpo e il termometro **interagiscono** e il livello del liquido, nel termometro, si innalza o si abbassa, a seconda dell'agitazione termica delle particelle microscopiche del corpo. La temperatura misura, dunque, il grado di agitazione delle particelle: più le molecole sono agitate, più è caldo. Minore è l'agitazione delle molecole, più è freddo. Per queste ragioni esiste una temperatura minima, chiamata zero assoluto che è irraggiungibile perché le molecole, particelle quantistiche dal comportamento molto diverso dalle particelle che vediamo con i nostri sensi, non si fermano mai. Possiamo allora affermare che la temperatura misura l'intensità dell'agitazione termica delle particelle microscopiche di un corpo? Ritenete che maggiore è l'agitazione termica più alta sia la temperatura del corpo? La temperatura ha due proprietà:

1. è una grandezza che **misura una proprietà macroscopica della materia**;
2. è una **grandezza intensiva**.

La temperatura non ci dice niente sulla *quantità* di calore che entra ed esce dal corpo. Possiamo misurare la temperatura di un corpo, di un oggetto o di un sistema (**in equilibrio termico**, in caso contrario il concetto di temperatura perde di significato), che sono costituiti da un numero enorme di particelle microscopiche, che noi chiamiamo atomi e molecole, ma non possiamo misurare la temperatura di un singolo atomo oppure di una singola molecola. Un corpo ha una temperatura perché le sue numerosissime particelle microscopiche *si muovono e interagiscono fra di loro*. Una sola molecola oppure un singolo atomo non hanno una temperatura, perché manca l'interazione con le altre molecole.

Bisogna anche chiarire che la temperatura è una **grandezza intensiva**, dato che le misure non dipendono dalla dimensione del campione (una goccia d'acqua o una zolletta di zucchero sono costituiti sempre da numerosissime molecole!). Supponiamo di prelevare un bicchiere d'acqua da una grande vasca piena d'acqua. Se misuriamo subito la temperatura dell'acqua contenuta nel bicchiere e quella nella vasca, troveremo che le due temperature coincidono, anche se i due campioni sono di dimensioni completamente diverse.



Il bulbo non deve toccare il fondo del bicchiere

Lo strumento utilizzato per misurare la temperatura è il **termometro**, che si basa sulla capacità che hanno i liquidi (come l'alcol e il mercurio), i solidi e i gas di dilatarsi, all'aumentare della temperatura. I termometri più comuni sono in gradi centigradi, secondo una scala chiamata anche scala Celsius (dall'astronomo svedese Anders Celsius, 1701 - 1744). Questa scala sfrutta due punti fissi: la temperatura a cui fonde il ghiaccio e quella a cui bolle l'acqua.

Mentre il ghiaccio fonde e l'acqua bolle, la temperatura si mantiene costante. Per costruire la scala centigrada si immerge il termometro in un miscuglio acqua - ghiaccio. Il mercurio, contenuto nel termometro, interagisce con acqua e ghiaccio e si contrae, fino a un valore stabile e ripetibile, che viene fissato con una tacca. A questa tacca si assegna il **valore arbitrario** di 0°C. Un segno analogo viene praticato sulla scala del termometro immergendo lo strumento in acqua bollente. Tale segno corrisponde anch'esso al **valore arbitrario** di 100 °C. La distanza fra i due segni viene infine divisa in 100 parti uguali. Il fisico scozzese Lord Kelvin (William Thomson, 1824 - 1907), nel 1848, propose la **scala assoluta delle temperature**, la cui origine si colloca a - 273,15 °C sotto lo zero della scala Celsius. Pertanto, la temperatura del ghiaccio che fonde è + 273,15 K e la temperatura dell'acqua che bolle è + 373,15 K. Il grado kelvin, che si indica con K maiuscolo, è uguale al grado centigrado:

$$1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Notare che la kappa della scala kelvin o scala assoluta **non** è preceduta dal tondino in alto a sinistra. La scala assoluta delle temperature, chiamata scala Kelvin, e la scala centigrada, detta scala Celsius, sono spostate l'una rispetto all'altra di 273,15 gradi. La temperatura assoluta, indicata con **T** maiuscola, è una delle sette grandezze fondamentali del SI. La temperatura centigrada viene segnata con **t**. Come si passa dalla temperatura in °C a quella in gradi K? Si applica la seguente semplificata relazione:

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15$$

Dove t esprime la temperatura in gradi $^{\circ}C$, presa col segno positivo o negativo.

Quindi nel caso del ghiaccio fondente la temperatura espressa in gradi kelvin K sarà:

$$T = (0 + 273,15) K = 273,15 K$$

Analogamente la temperature di ebollizione dell'acqua in gradi kelvin K sarà:

$$T = (100 + 273,15) K = 373,15 K$$

Esempio

Un campione di azoto liquido si trova a $- 200 ^{\circ}C$. Qual è la temperatura assoluta ?

Soluzione

$T = (- 200 + 273,15) K = 73,15 K$. Per indicare i gradi K, *non si deve mettere* il cerchietto $^{\circ}$ in alto a sinistra di K.

2. La temperatura, il calore e l'energia interna

Un oggetto è *percepito* caldo quando si trova a temperatura più alta di quella del corpo umano. Lo stesso oggetto è *percepito* freddo se la sua temperatura è più bassa di quella del nostro corpo. Quindi gli aggettivi **caldo** e **freddo** si riferiscono alla **temperatura**. Quello che sentiamo, tuttavia, appena tocchiamo un oggetto, non è la temperatura, ma il calore che l'oggetto caldo ci fornisce o che l'oggetto freddo assorbe dalla nostra mano. Le cose ci sembrano calde quando sono più calde della nostra mano, ossia sono a temperatura più alta. Le cose ci sembrano fredde quando sono a temperatura più bassa della nostra mano. Se vogliamo un'ulteriore prova, proviamo a mettere una mano in acqua calda e l'altra mano in acqua fredda. Subito dopo, immergiamo le due mani in acqua tiepida: una mano ci dirà che quest'acqua è fredda e l'altra mano che la stessa acqua è calda.



Figura Il nostro corpo percepisce la differenza di temperatura fra un oggetto freddo e un oggetto caldo. Quello che sentiamo, tuttavia, appena tocchiamo un oggetto, non è la temperatura, ma il calore che l'oggetto ci fornisce o che assorbe dalla nostra mano.

La temperatura è una **proprietà macroscopica** di un corpo, di un oggetto o di un sistema. Possiamo dire che un corpo *ha una certa temperatura*. Non possiamo dire, invece, che il corpo abbia un certo "calore", come si verifica molto spesso nel linguaggio parlato e scritto.

Ma qual è il meccanismo con cui si modifica lo stato termico di un corpo ?

Proviamo a mescolare un uguale quantitativo, per esempio 50 mL di acqua calda con 50 mL di acqua fredda. In questa maniera poniamo in contatto un oggetto freddo (l'acqua fredda) con un oggetto caldo (l'acqua calda). Le molecole dell'acqua calda si agitano di più e si scontrano con le molecole dell'acqua fredda. All'istante le molecole dell'acqua fredda iniziano a muoversi più velocemente, mentre le molecole dell'acqua calda rallentano il loro moto. Si dice che l'acqua calda trasferisce calore all'acqua fredda. Il calore, quindi, non è altro che il processo di trasferimento dell'agitazione termica. Che cosa determina il trasferimento di calore ? È la differenza di temperatura fra l'acqua calda e l'acqua fredda. I due oggetti (acqua fredda e calda), mentre si scambiano il calore, contemporaneamente modificano le rispettive temperature. La temperatura più alta si abbassa e la temperatura più bassa del corpo freddo si innalza. Questo fenomeno di scambio dell'agitazione termica avviene pure nei solidi a contatto e non solo nei fluidi, come l'acqua e l'aria.

Alla fine del mescolamento, come si può facilmente verificare col termometro, avremo un liquido che avrà una temperatura intermedia fra quelle iniziali dell'acqua calda e dell'acqua fredda. Quando due oggetti a differenti temperature *interagiscono termicamente*, c'è uno scambio di agitazione termica e quindi un **trasferimento di calore** dall'oggetto caldo all'oggetto freddo, sino al conseguimento della condizione di equilibrio termico ? Si può allora sostenere che il calore *non* è una proprietà di un corpo, ma un flusso di energia termica che *si trasferisce* da un sistema a temperatura più alta a un sistema con temperatura inferiore ?

Il trasferimento di calore fra il corpo caldo e il corpo freddo avviene nel pieno rispetto del **principio di conservazione dell'energia** ? In effetti, l'energia non può essere **né** creata né distrutta. Può essere soltanto convertita da una forma all'altra, ma la quantità totale di energia non varia mai.

Di conseguenza, la quantità di calore ceduto dal corpo caldo è perfettamente uguale al calore assorbito dal corpo freddo:

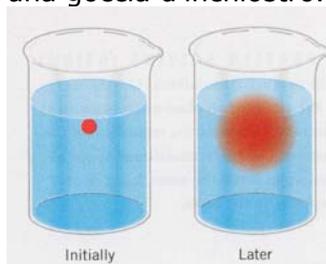
$$| \text{Calore ceduto} | = | \text{Calore assorbito} |$$

Dopo che il calore è stato trasmesso dal corpo caldo al corpo freddo, cessa di essere calore e diventa **energia interna**. Durante il flusso di calore dal corpo caldo al corpo freddo, l'energia interna del materiale caldo, chiamata anche energia termica, diminuisce mentre l'energia interna del materiale freddo aumenta. E siccome il calore rappresenta *l'energia termica in transito*, **non è corretto dire che un oggetto contiene calore**.

L'energia interna di un materiale è dovuta principalmente a due fattori:

- alla somma **dell'energia cinetica** di tutte le sue molecole, che si muovono disordinatamente;
- all'**energia potenziale molecolare**, derivante dalle forze di coesione (di attrazione elettrostatica) che agiscono fra le molecole del materiale.

La migliore prova del movimento disordinato delle molecole è data dalla diffusione in acqua di un materiale colorato, per esempio una goccia d'inchiostro.



Acqua fredda

Acqua calda

Figura La goccia d'inchiostro si disperde nell'acqua a causa degli urti disordinati delle molecole d'acqua

Come si può facilmente vedere, la goccia di inchiostro si disperde rapidamente nell'acqua calda e lentamente in acqua fredda. Il fatto sperimentale si può spiegare ammettendo che le molecole d'acqua si muovono più velocemente in acqua calda (energia cinetica maggiore) e lentamente in acqua fredda.

L'evidenza più convincente, invece, che le molecole dei materiali hanno pure una energia potenziale è data dall'espansione dei materiali, per effetto del calore assorbito. Nel processo di espansione il calore è in condizione di ridurre le forze di attrazione (di natura elettrica), chiamate **forze di coesione**, fra le particelle microscopiche e di distanziare le molecole del solido, del liquido e del gas. Per effetto del riscaldamento le molecole si allontanano ma non aumentano di volume. La *dilatazione termica* degli oggetti riscaldati è un fenomeno macroscopico e non microscopico delle singole piccole molecole. Commette un errore grave l'allievo che sostiene il contrario e cioè che il riscaldamento faccia ingrossare il volume delle piccole molecole (unica eccezione le molecole aggrovigliate dei polimeri, che si srotolano e aumentano di volume).

Gli oggetti che ci circondano posseggono **energia interna**, hanno una determinata temperatura se in equilibrio termico (vedi il caso del corpo umano), possono cedere ed acquistare calore. Ma questi corpi **contengono** calore? No! Si possono dare e si danno vari nomi all'energia interna, per esempio: l'energia chimica (che riguarda principalmente i combustibili e il cibo), l'energia elastica (tipica della gomma e delle molle), l'energia magnetica (per pochi materiali magnetici), l'energia nucleare (che interessa il nucleo dell'atomo). Ma in definitiva l'*energia interna* di un oggetto, considerato come sistema di particelle microscopiche, rappresenta l'*energia totale* del sistema cioè la somma delle *energie cinetiche* e delle *energie potenziali* di tutte le particelle che costituiscono il sistema - oggetto. La seguente tabella sintetizza i concetti spiegati sopra.

Tabella I concetti di temperatura, energia interna, energia termica e calore

Temperatura	Energia interna	Calore
La temperatura misura l'intensità dell'agitazione termica ossia è proporzionale all'energia cinetica media delle molecole dell'oggetto. Le molecole di un oggetto caldo si muovono più velocemente di quelle di un corpo freddo e sono separate da spazio vuoto.	L' energia interna , è la somma sia delle energie cinetiche di tutte le molecole sia delle energie potenziali molecolari dell'oggetto (dovute alle forze di attrazione elettrica, chiamate forze di coesione , fra le molecole dell'oggetto).	Il calore è il processo di trasferimento dell'energia termica (nome dato all'energia cinetica "disordinata" delle molecole) da un oggetto caldo a uno freddo. Se la temperatura dei due oggetti è la stessa, non ci sarà alcun flusso di calore e le molecole dei due oggetti avranno la stessa energia cinetica media.